

压缩空气站设计手册

《压缩空气站设计手册》编写组编

压缩空气站设计手册

《压缩空气站设计手册》编写组编

中国建筑工业出版社

本手册共分十章，分别叙述了空气的性质、压缩空气的用途、空气压缩机及其辅助设备的工作原理、计算方法及产品性能，着重论述了压缩空气站站房工艺设计，并列出了站房设计示图，介绍了检测仪表和自动控制、管道设计及设备安装与维护等内容。简要地叙述了压缩空气干燥与净化的原理，并列出了某些试验结果以及设备结构等资料。

本手册可供压缩空气站工艺设计人员参考，也可供从事压缩空气站安装和运行人员参考。

压缩空气站设计手册

《压缩空气站设计手册》编写组编

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷

*

开本：787×1092毫米 $1/16$ 印张：25 $3/4$ 插页6 字数：583 千字

1974年8月第一版 1974年8月第一次印刷

印数：1—7,510册 定价：3.00元

统一书号：15040·3133

前 言

为了适应社会主义革命和社会主义建设发展的需要，进一步提高设计质量，加快设计进度，使设计工作符合多快好省的要求，我们编写了这本《压缩空气站设计手册》，为广大设计人员提供一本较为系统的设计参考资料。

本手册在内容上围绕着压缩空气站工艺设计所需要的知识，加以阐述。其中包括：空气的物理性质，空气压缩机及其辅助设备的工作原理与结构，活塞式空气压缩机的安装、维修与试运转等，侧重叙述目前我国广泛采用的活塞式空气压缩机压缩空气站的工艺设计，并列出了站房设备布置示图。同时也简略地介绍了采用离心式空气压缩机的压缩空气站的设计特点。

本手册是由五个设计院的有关专业设计人员按章、节分组编写的。编写过程中虽经集体讨论，并向全国有关单位广泛征求意见，多次修改，但各章之间仍不够协调，加上我们政治水平和业务能力不高，手册中难免有错误和不妥之处，我们热情欢迎广大读者给予批评和指正，以便再版时修订。

目前，《压缩空气站设计规范》正在编制中，因此在使用本手册时，如发现与规范有不符之处，应以新的规范为准。

本手册在编写过程中，得到很多设计院、厂、矿等有关单位和一些同志的大力支持并积极参加审阅，提供了不少技术资料和宝贵意见，在此谨致谢意。

《压缩空气站设计手册》编写组

1973年8月

目 录

前 言

第一章 空气的性质及其应用	1
第一节 压缩空气在工业上的应用	1
第二节 空气的湿度	1
第三节 空气的物理性质	6
第二章 空气压缩机	12
第一节 压缩机的种类及其应用范围	12
第二节 活塞式空气压缩机	13
第三节 滑片式空气压缩机	33
第四节 螺杆式空气压缩机	37
第五节 离心式空气压缩机	42
第六节 国产空气压缩机	50
第三章 辅助设备	60
第一节 空气过滤器	60
第二节 后冷却器	66
第三节 油水分离器	87
第四节 贮气罐	89
第五节 废油收集器	93
第四章 压缩空气站工艺设计	95
第一节 设计基本资料	95
第二节 压缩空气供应方案	95
第三节 压缩空气的设计消耗量	96
第四节 安装容量和机组选择	98
第五节 工艺系统	100
第六节 站房及设备布置	102
第七节 高压压缩空气站设计	113
第八节 离心式空气压缩机的压缩空气站设计	121
第九节 空气压缩机的增产措施	125
第五章 有关专业设计资料	130
第一节 总平面布置	130
第二节 建筑和结构	130
第三节 给水和排水	131
第四节 采暖与通风	132
第五节 供电和照明	132

第六章 压缩空气的干燥与净化	133
第一节 压缩空气的干燥方法	133
第二节 压缩空气吸附干燥	133
第三节 压缩空气的冷冻干燥	167
第四节 压缩空气的净化	171
第五节 压缩空气干燥装置的布置	190
第七章 检测仪表与自动控制	200
第一节 测量仪表	200
第二节 空气压缩机的自动控制	211
第三节 空气压缩机排气量的测定	224
第四节 压缩空气质量的检验	230
第八章 管道设计	233
第一节 压缩空气供气系统确定的一般原则	233
第二节 管道的计算	235
第三节 管道的连接、敷设和布置	258
第四节 管道热补偿及支架设计	269
第五节 管道附件	295
第六节 管道的保温、防腐、油漆和着色	353
第七节 管道安装技术条件	356
第九章 压缩空气站设计示例	361
一、安装3台V-6/8-1型空气压缩机的压缩空气站设计	362
二、安装3台V-6/8-1型空气压缩机的压缩空气站设计	363
三、安装4台3L-10/8型空气压缩机的压缩空气站设计	364
四、安装5台4L-20/8型空气压缩机的压缩空气站设计	366
五、安装3台4L-20/8型空气压缩机并带干燥装置的压缩空气站设计	368
六、安装4台5L-40/8型空气压缩机的压缩空气站设计	372
七、安装3台L8-60/7型空气压缩机的压缩空气站设计	374
八、安装2台L8-60/7型空气压缩机的压缩空气站设计	376
九、安装3台7L-100/8型空气压缩机的压缩空气站设计	378
十、安装2台1-3/220型空气压缩机并带贮气瓶间的压缩空气站设计	380
第十章 活塞式空气压缩机的安装、运行、维护和检修	383
第一节 空气压缩机的安装	383
第二节 空气压缩机的试运转	385
第三节 空气压缩机的操作	387
第四节 空气压缩机的维护、检修及安全技术	389
第五节 空气压缩机故障的排除	390
附录	394
一、单位换算	394
1. 长度换算	394
2. 面积换算	394

3. 容积换算	394
4. 压力换算	394
5. 流量换算	395
6. 能量(功)换算	395
7. 功率换算	395
8. 导热系数换算	395
9. 传热系数换算	396
10. 速度换算	396
11. 温度换算	396
12. 水的硬度换算	396
13. 粘度换算	397
14. 绝对粘度	397
15. 运动粘度	397
16. 密度(重度)	397
二、部分城市气象资料	398
三、国产活塞式和回转式空气压缩机部分产品参数表	399
四、国产离心式空气压缩机参数表	
五、压缩空气消耗量表	401
1. 锻锤蒸汽消耗量	401
2. 喷砂及清理用吹嘴空气消耗量	401
3. 风动砂轮机空气消耗量	402
4. 喷漆空气消耗量	402
5. 镀槽搅拌用空气消耗量	402
6. 炉门升降装置空气消耗量	402
六、管道常用计算数据表	403
七、钢材额定许用应力表	403
八、普通碳素钢的机械性能	404
九、优质碳素钢的机械性能	404
十、供确定管道直径及空气在管道中的压力降用的计算图表	
十一、根查氏计算压缩空气管道的图表	
十二、计算空气在胶皮管内的压力损失的列线图	
十三、空气的 <i>i-d</i> 图	
<i>P</i> = 500毫米汞柱时湿空气 <i>i-d</i> 图	
<i>P</i> = 600毫米汞柱时湿空气 <i>i-d</i> 图	
<i>P</i> = 700毫米汞柱时湿空气 <i>i-d</i> 图	
<i>P</i> = 740毫米汞柱时湿空气 <i>i-d</i> 图	
<i>P</i> = 760毫米汞柱时湿空气 <i>i-d</i> 图	
十四、空气的 <i>T-S</i> 图	

第一章 空气的性质及其应用

第一节 压缩空气在工业上的应用

在工业上，压缩空气是一种重要的动力源。它具有很多便于采用的良好性能和特点：空气具有可压缩性，清晰透明，输送方便，不凝结，没有特殊的有害性能，没有起火危险，在地面上空气到处皆有，取之不尽。

使用压缩空气的风动机械，虽然有效利用系数较低，但在很多技术部门中是完全比得上蒸汽机械及电力机械的。与蒸汽机械相比，空气没有热损耗，便于输送，同时也没有由于凝结而产生的特殊损耗。与电力机械比较，风动机械具有许多特点：不产生火花，不怕超负荷，在湿度很大、气温很高、灰尘很多的环境中也能很好地操作，并无触电危险，适合做冲击性和负荷变化很大的工作。

上述这些特点，常使采用压缩空气比采用蒸汽和电力方便、安全，所以压缩空气用途甚广。在机械制造、矿山开采、建筑、交通运输、化工、冶金及国防工业等部门，压缩空气是必不可少的动力源之一。

压缩空气可供驱动各种风动机械和风动工具。如采矿用的风钻、锻工用的气锤、气力铆钉机、气力起重机、风动砂轮、喷砂、喷漆、溶液搅拌、粉状物料输送、控制仪表及自动化装置等，常采用压力为2~8公斤/厘米²的压缩空气；船用柴油机、电站制动或控制，采用压力为25~60公斤/厘米²的压缩空气；油井压裂则用压力约为150公斤/厘米²的压缩空气；科研试验，产品及零部件的气密性试验，材料的物理性能或化学加压反应、空气分离等，都以不同压力的压缩空气作为动力或作为原料。

在近代精密仪表车间中，用于吹洗零件以及控制仪表和自动化装置中的压缩空气，其净化度和干燥度的要求都是很高的。因为压缩空气中如含有水、油和尘埃，会造成自动化仪表失灵；又如在食品和医药工业中对压缩空气的品质要求也较高。可是，有的用户对压缩空气的品质没有严格要求，只要求压力和流量能达到一定参数即可，如矿山开采用的压缩空气等。

第二节 空气的湿度

空气与水蒸汽的混合物称为湿空气，完全不含水蒸汽的空气称为干空气。自然界中的空气或多或少地含有若干水蒸汽，因此都是湿空气。一般情况下，湿空气中的水蒸汽都处于过热状态，即呈不饱和状态。

当水蒸汽含量达到给定条件（湿空气的压力及温度）下最大值时的湿空气称为饱和空气，反之为未饱和空气。

为便于分析计算，这里先引述一些关于湿空气性质的参数。

1. 绝对湿度 每 1 米³的湿空气所含水蒸汽的重量 (公斤) 称为湿空气的绝对湿度, 也就是水蒸汽在其分压力及湿空气温度下的比重。用符号 x 表示, 单位是“公斤/米³”。

若近似地应用理想气体公式, 则

$$x = \frac{G_s}{V} = \frac{P_s}{R_s T} \quad \text{公斤/米}^3 \quad (1-1)$$

式中 G_s ——水蒸汽的重量 (公斤);

V ——湿空气的体积 (米³);

P_s ——水蒸汽的分压力 (公斤/米²);

T ——湿空气的绝对温度 (°K);

R_s ——水蒸汽的气体常数, $R_s = 47.1$ 公斤·米/公斤·°K;

x ——绝对湿度 (公斤/米³)。

如果空气中水蒸汽的分压力达到饱和蒸汽压, 则其饱和绝对湿度为

$$x_b = \frac{P_b}{R_s T} \quad \text{公斤/米}^3 \quad (1-2)$$

式中 P_b ——饱和空气中水蒸汽的分压力 (公斤/米²);

x_b ——饱和空气中水蒸汽量, 即饱和绝对湿度 (公斤/米³)。

饱和绝对湿度为在某一温度下可能达到的最大湿度。

2. 相对湿度 相对湿度或称水蒸汽饱和度, 为在同温度和同总压力下, 其绝对湿度与饱和绝对湿度之比, 如下式所示:

$$\varphi = \frac{x}{x_b} = \frac{P_s}{P_b} \quad (1-3)$$

式中 φ ——相对湿度 (%)。

当空气为绝对干燥时, $P_s = 0$, 则 $\varphi = 0$; 当空气达到饱和时, $P_s = P_b$, 则 $\varphi = 1$ 。一般, 湿空气的 φ 值在 0 至 1 之间。

3. 空气的湿含量 当空气的绝对湿度变化时, 湿空气的总重量也随之变化, 但湿空气中干空气的重量是恒定不变的。因此在研究湿空气的物理性质时, 采用空气的湿含量这个概念是方便的。

空气的湿含量, 系指与每公斤干空气混合的水蒸汽的重量。其数值等于湿空气中水蒸汽重量与绝对干空气重量之比, 或等于水蒸汽比重与干空气比重之比, 即

$$d = \frac{G_s}{G_g} = \frac{\gamma_s}{\gamma_g} \quad \text{公斤水蒸汽/公斤干空气} \quad (1-4)$$

式中 d ——湿含量 (公斤水蒸汽/公斤干空气);

G_s ——水蒸汽重量 (公斤);

G_g ——干空气重量 (公斤);

γ_s ——水蒸汽比重 (公斤/米³);

γ_g ——干空气比重 (公斤/米³)。

湿含量可用下式求得:

$$d = 622 \frac{P_s}{P_g} = 622 \frac{\varphi P_b}{P - \varphi P_b} \quad \text{克/公斤} \quad (1-5)$$

式中 P ——湿空气压力 ($P = P_s + P_g$) (公斤/厘米²)；

P_s ——水蒸汽分压力 (公斤/厘米²)；

P_g ——干空气分压力 (公斤/厘米²)；

P_b ——饱和水蒸汽分压力 (公斤/厘米²)；

φ ——空气相对湿度 (%)。

从上式可知，湿含量可表示为温度 t (决定 P_s)、相对湿度 φ 及总压力 P 的函数。在一定总压力下，对于 $\varphi = 1$ 的饱和湿空气，湿含量达到了指定温度下的最大值。这时，

$$d_b = 622 \frac{P_b}{P - P_b} \quad \text{克/公斤} \quad (1-6)$$

当湿空气的温度下降 (即 P_b 降低)，或总压力 P 增大时则饱和湿含量 d_b 降低。

在大气压力 760 毫米汞柱下，饱和空气中水蒸汽含量与温度的关系列于表 1-1。

在 760 毫米汞柱下饱和空气中水蒸汽含量

表 1-1

温 度 (°C)	饱和水蒸汽分压 (公斤/厘米 ²)	湿含量 (克/米 ³)	温 度 (°C)	饱和水蒸汽分压 (公斤/厘米 ²)	湿含量 (克/米 ³)	温 度 (°C)	饱和水蒸汽分压 (公斤/厘米 ²)	湿含量 (克/米 ³)
100	1.033	597.0	34	0.0543	37.6	6	0.0095	7.3
95	0.862	503.9	33	0.0513	35.7	4	0.0083	6.4
90	0.715	422.9	32	0.0486	33.8	2	0.0072	5.6
85	0.590	353.1	31	0.0458	32.0	0	0.0062	4.8
80	0.483	292.9	30	0.0432	30.4	-2	0.0054	4.2
75	0.393	241.6	29	0.0408	28.7	-4	0.0046	3.5
70	0.318	197.9	28	0.0385	27.2	-6	0.0039	3.0
65	0.255	161.1	27	0.0363	25.8	-8	0.0034	2.6
60	0.203	130.1	26	0.0343	24.4	-10	0.0029	2.2
55	0.161	104.3	25	0.0324	23.0	-12	0.0025	1.8
50	0.126	83.2	24	0.0305	21.8	-14	0.0021	1.5
49	0.120	79.4	23	0.0287	20.6	-16	0.0018	1.3
48	0.114	75.8	22	0.0270	19.4	-18	0.00124	1.1
47	0.108	71.9	21	0.0254	18.3	-20	0.00103	0.9
46	0.103	68.5	20	0.0238	17.3	-22	0.00084	0.8
45	0.0978	65.5	19	0.0224	16.3	-24	0.00070	0.6
44	0.0930	62.5	18	0.0211	15.4	-26	0.00057	0.5
43	0.0882	59.5	17	0.0197	14.5	-28	0.00046	0.4
42	0.0836	56.5	16	0.0186	13.7	-30	0.00038	0.34
41	0.0795	53.8	15	0.0174	12.8	-35	0.00022	0.2
40	0.0752	51.2	14	0.0163	12.1	-40	0.00013	0.12
39	0.0715	48.8	13	0.0153	11.4	-45	0.000071	0.067
38	0.0676	46.3	12	0.0143	10.7	-50	0.000038	0.035
37	0.0641	44.0	11	0.0134	10.0	-55	0.000021	0.021
36	0.0606	41.8	10	0.0125	9.4	-60	0.000011	0.011
35	0.0573	39.6	8	0.0109	8.3			

从表1-1中可看出,当温度从+30°C降低到-40°C时,空气中水蒸汽量由30.4克/米³减少到0.12克/米³,即减少了99%。对于去除水分来说,降低进入装置的空气温度是有利的。

空气经压缩机压缩后,由于体积减少,单位体积空气内能含的饱和水蒸汽量也降低,所以空气被压缩时,其中所含的大部分水分将在压缩机的冷却器内析出。表1-2为不同温度和压力下压缩空气中饱和湿含量值。图1-1列举了温度从-40°C~+100°C、压力达1000大气压时压缩空气中饱和湿含量值,图1-2为压力低于8公斤/厘米²时压缩空气的饱和湿含量。

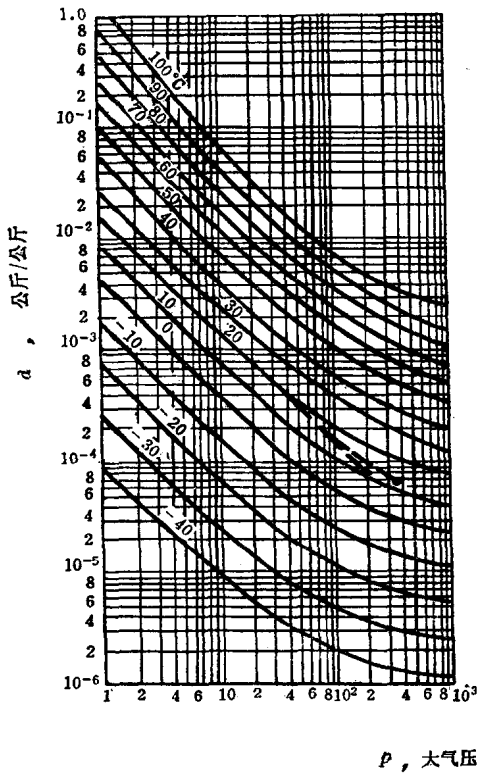


图 1-1 在不同压力下压缩空气中饱和湿含量

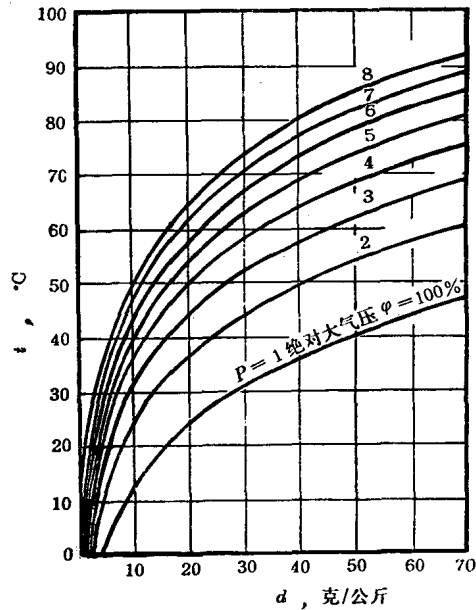


图 1-2 在 $P \leq 8$ 公斤/厘米² 时压缩空气中饱和湿含量

4. 露点 当湿空气在水蒸汽分压力 P_v 不变下冷却至饱和时的温度称为露点。露点即是相应于水蒸汽分压力 P_v 的饱和温度。

湿空气在露点时为饱和状态,故其相对湿度 $\varphi = 1$ 。式(1-6)中的 P_v 即露点时的饱和蒸汽压力,如以 P_p 表示,得

$$P_p = \frac{dP}{622+d} \quad \text{公斤/厘米}^2 \quad (1-7)$$

式中 d ——湿含量(克/公斤);
 P ——总压力(公斤/厘米²);
 P_p ——露点时饱和蒸汽压力(公斤/厘米²)。

式(1-7)说明当湿空气的总压力固定时,露点的饱和蒸汽压仅与该空气的湿含量有关。如已知湿空气的总压力 P 及其湿含量 d ,由式(1-7)可求得露点的饱和蒸汽压力 P_p ,

压缩空气中饱和湿含量 d (克/米³)

表 1-2

空气温度 (°C)	空 气 压 力 (公斤/厘米 ²)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
-10	2.14	1.07	0.71	0.54	0.43	0.36	0.31	0.27	0.24	0.21	0.19
- 5	3.24	1.62	1.08	0.81	0.65	0.54	0.46	0.40	0.36	0.32	0.29
0	4.84	2.42	1.61	1.21	0.97	0.81	0.69	0.60	0.54	0.48	0.44
+ 5	6.80	3.40	2.26	1.70	1.36	1.13	0.97	0.85	0.76	0.68	0.62
+10	9.40	4.70	3.14	2.35	1.88	1.57	1.34	1.18	1.04	0.94	0.86
+15	12.80	6.40	4.26	3.20	2.56	2.13	1.83	1.60	1.42	1.28	1.16
+20	17.3	8.65	5.76	4.33	3.46	2.88	2.47	2.16	1.92	1.73	1.57
+25	23.0	11.50	7.67	5.75	4.60	3.84	3.28	2.88	2.55	2.30	2.09
+30	30.4	15.20	10.1	7.60	6.08	5.06	4.34	3.80	3.38	3.04	2.76
+35	39.6	19.80	13.2	9.90	7.92	6.60	5.65	4.95	4.40	3.96	3.60
+40	51.0	25.50	17.0	12.8	10.2	8.50	7.28	6.38	5.67	5.10	4.64
+45	65.0	32.50	21.6	16.3	13.0	10.8	9.28	8.13	7.22	6.50	5.91
+50	83.0	41.50	27.6	20.8	16.6	13.9	11.9	10.4	9.23	8.30	7.55

再根据 P_p 由水蒸汽性质表查得露点 t_p 。

露点与湿含量的关系曲线见图1-3。

5. $i-d$ 图 湿空气的 $i-d$ 图(焓湿图), 是表示一定大气压力 P (毫米汞柱)下, 干空气和水蒸汽混合物的各参数, 即焓 i (千卡/公斤)、湿含量 d (克/公斤)、温度 t (°C)、相对湿度 φ (%)和水蒸汽分压力 P_s (毫米汞柱)的值及其相互关系的图表。

$i-d$ 图系根据下列公式编制的:

$$i = 0.24t + (595 + 0.47t)0.001d, \quad \text{千卡/公斤} \quad (1-8)$$

$$d = 622 \frac{P_s}{P - P_s} \quad \text{克/公斤}$$

$$\varphi = \frac{P_s}{P_b} 100\%,$$

式中 P_b ——饱和水蒸汽的分压力(毫米汞柱)。

在大气压力为500、600、700、740、760毫米汞柱时的 $i-d$ 图列于附录十三, 供设计时选用。

在 $i-d$ 图图框边上均标有不同热湿比(用“ ε ”表示)的值。热湿比表示空气自一个状态点到另一个状态点的热湿变化关系。 ε 值可用下式表示:

$$\varepsilon = \frac{(i_2 - i_1)}{0.001(d_2 - d_1)} = \frac{\Delta i}{0.001 \Delta d} = \frac{Q}{S} \quad \text{千卡/公斤} \quad (1-9)$$

式中 i_1 、 d_1 ——初状态点空气的焓和湿含量;

i_2 、 d_2 ——终状态点空气的焓和湿含量;

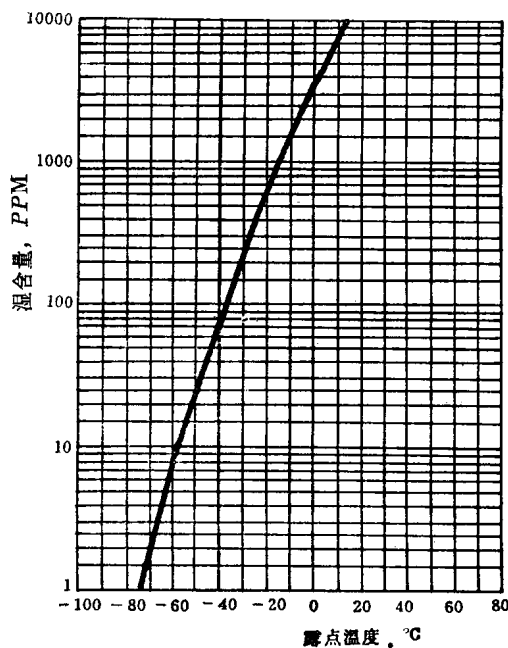


图 1-3 露点与湿含量关系曲线

Q ——总热量(千卡/小时);

S ——湿含量(公斤/小时)。

根据焓和湿含量增减的情况, ε 值可以是正值也可以是负值。

第三节 空气的物理性质

干空气是一种气体混合物, 它主要由氮、氧和氩所组成, 还含有微量的氖、氦、氪、氙、氢和臭氧。在标准状况下, 干空气的组分见表1-3。

干空气的组分

表 1-3

气 体	分 子 式	分 子 量	体 积 (%)	重 量 (%)
氮	N ₂	28.016	78.03	75.6
氧	O ₂	32.00	20.93	23.1
氩	Ar	39.944	0.932	1.286
二氧化碳	CO ₂	44.010	0.03	0.046
氖	Ne	20.183	(15~18) × 10 ⁻⁴	1.2 × 10 ⁻³
氦	He	4.003	(4.6~5.3) × 10 ⁻⁴	7 × 10 ⁻⁵
氪	Kr	83.80	1.08 × 10 ⁻⁴	3 × 10 ⁻⁴
氙	Xe	131.3	0.08 × 10 ⁻⁴	4 × 10 ⁻⁵
氢	H ₂	2.016	0.5 × 10 ⁻⁴	3.6 × 10 ⁻⁶
臭氧	O ₃	48.00	(1~2) × 10 ⁻⁶	2 × 10 ⁻⁵

大气中平均含有0.03%(体积)二氧化碳, 在工业区则空气中二氧化碳含量还要高些, 同时还含有微量的乙炔、甲烷、一氧化碳、氧化氮及其它气体、尘埃和机械杂质。

在绝对压力 $P = 735.5$ 毫米汞柱时, 干空气的物理常数见表1-4。

空气的分子量为28.96。

1. 气体常数 湿空气的气体常数为

$$R = \frac{R_g + d \cdot R_s}{1 + d} \quad (1-10)$$

式中 $R_g = 29.27$ ——空气的气体常数(公斤·米/公斤·度);

$R_s = 47.05$ ——水蒸汽的气体常数(公斤·米/公斤·度);

d ——湿含量(公斤/公斤)。

2. 比重 在温度为0°C、压力为760毫米汞柱时, 空气的比重 $\gamma_0 = 1.2931$ 公斤/米³, 在温度为 t (°C)、压力为 H (毫米汞柱)时, 空气的比重为

$$\gamma = 1.2931 \frac{273}{273 + t} \frac{H}{760} \quad \text{公斤/米}^3 \quad (1-11)$$

湿空气的比重为

$$\gamma = 1.2931 \frac{273}{273 + t} \frac{H - 0.378 \varphi P_b}{760} \quad \text{公斤/米}^3 \quad (1-12)$$

式中 φ ——相对湿度;

P_b ——在温度 t °C时空气中饱和水蒸汽分压力(毫米汞柱)。

湿空气的比重也可用下式求得:

在绝对压力 $P=735.5$ 毫米汞柱时干空气的物理常数

表 1-4

温 度 (°C)	绝对粘度 $\eta \times 10^6$ (公斤·秒/米 ²)	比 重 γ (公斤/米 ³)	运动粘度 $\nu \times 10^6$ (米 ² /秒)	比 热 C_p (千卡/公斤·°C)	导热系数 λ (千卡/米·小时·°C)
-20	1.66	1.365	11.93	—	0.0194
- 0	1.78	1.252	13.96	0.241	0.0204
10	1.82	1.206	14.82	0.2413	0.0210
20	1.86	1.164	15.68	0.2416	0.0216
30	1.905	1.127	16.60	0.2419	0.0222
40	1.95	1.092	17.52	0.2422	0.0228
50	1.99	1.057	18.47	0.2426	0.0234
60	2.03	1.025	19.43	0.2429	0.0240
70	2.08	0.996	20.45	0.2432	0.0246
80	2.12	0.986	21.5	0.2435	0.0252
90	2.165	0.942	22.58	0.2438	0.0258
100	2.21	0.916	23.7	0.2441	0.0264
120	2.30	0.870	25.9	0.2447	0.0275
140	2.38	0.827	28.2	0.2453	0.0286
160	2.46	0.789	30.6	0.2460	0.0296
180	2.54	0.755	33.0	0.2466	0.0307
200	2.62	0.723	35.6	0.2472	0.0318

$$\gamma = \gamma_g + \gamma_s = \frac{P_g}{R_g T} + \frac{P_s}{R_s T} \quad \text{公斤/米}^3 \quad (1-13)$$

- 式中 γ_g ——干空气比重 (公斤/米³) ;
 γ_s ——水蒸汽比重 (公斤/米³) ;
 P_g ——干空气分压力 (公斤/米²) ;
 P_s ——水蒸汽分压力 (公斤/米²) ;
 R_g ——空气的气体常数 (公斤·米/公斤·度) ;
 R_s ——水蒸汽的气体常数 (公斤·米/公斤·度) 。

空气的比重与压力和温度的关系见表1-5和表1-6。

空气比重 (公斤/米³) 与压力及温度的关系

表 1-5

压 力 (绝对大气压)	温 度 (°C)							
	0	20	50	100	150	200	300	400
1	1.2514	1.166	1.057	0.915	0.807	0.722	0.596	0.507
1.033	1.2930	1.204	1.092	0.9458	0.8343	0.7457	0.6157	0.5242
20	25.28	23.46	21.19	18.26	16.07	14.35	11.83	10.07
40	50.98	47.14	42.39	36.38	31.97	28.51	23.49	20.02
60	77.01	70.84	63.47	54.29	47.61	42.45	34.97	29.80
80	103.0	94.54	83.34	72.03	63.05	56.15	46.26	39.43
100	128.9	118.0	105.0	89.45	78.22	69.60	57.33	48.90
150	191.2	174.5	154.9	132.5	114.9	102.3	84.18	71.87
200	248.8	226.9	201.5	171.2	149.6	133.3	109.8	93.88
250	297.8	273.4	243.7	207.9	182.0	162.4	134.1	114.9
300	342.8	316.5	283.3	242.5	218.8	190.2	157.3	135.0

表 1-6

压力低于10绝对大气压时压缩空气的比重 γ (公斤/米³)

压 力 (绝对大气压)	温 度 (°C)														
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140
1.0	1.25	1.21	1.17	1.13	1.09	1.06	1.03	1.00	0.97	0.94	0.92	0.89	0.87	0.85	0.83
1.033	1.293	1.17	1.17	1.13	1.13	1.09	1.06	1.03	1.00	0.97	0.95	0.92	0.89	0.88	0.85
2.0	2.50	2.41	2.33	2.26	2.18	2.12	2.05	1.99	1.90	1.88	1.83	1.78	1.74	1.70	1.65
3.0	3.75	3.62	3.50	3.38	3.27	3.17	3.08	2.99	2.90	2.82	2.75	2.68	2.61	2.54	2.48
3.2	4.01	3.86	3.73	3.61	3.49	3.38	3.28	3.19	3.10	3.01	2.93	2.85	2.78	2.71	2.65
3.4	4.26	4.10	3.97	3.83	3.71	3.60	3.49	3.39	3.29	3.20	3.11	3.03	2.96	2.88	2.81
3.6	4.51	4.35	4.20	4.06	3.93	3.81	3.69	3.59	3.48	3.39	3.30	3.21	3.13	3.05	2.98
3.8	4.76	4.59	4.43	4.28	4.15	4.02	3.90	3.79	3.68	3.58	3.48	3.39	3.30	3.22	3.14
4.0	5.01	4.83	4.66	4.51	4.37	4.23	4.10	3.98	3.87	3.76	3.66	3.57	3.48	3.39	3.37
4.2	5.26	5.07	4.90	4.74	4.58	4.44	4.31	4.18	4.06	3.95	3.85	3.75	3.65	3.56	3.47
4.4	5.51	5.31	5.13	4.96	4.80	4.65	4.51	4.38	4.26	4.14	4.03	3.92	3.83	3.73	3.64
4.6	5.76	5.55	5.36	5.19	5.02	4.87	4.72	4.58	4.45	4.33	4.21	4.10	4.00	3.90	3.81
4.8	6.01	5.80	5.60	5.41	5.24	5.08	4.92	4.78	4.65	4.52	4.40	4.28	4.17	4.07	3.97
5.0	6.26	6.04	5.83	5.64	5.46	5.29	5.13	4.98	4.84	4.71	4.58	4.46	4.35	4.24	4.14
5.2	6.51	6.28	6.06	5.86	5.68	5.50	5.34	5.18	5.03	4.89	4.76	4.64	4.52	4.41	4.30
5.4	6.76	6.52	6.30	6.09	5.89	5.71	5.54	5.38	5.23	5.08	4.95	4.82	4.69	4.58	4.47
5.6	7.01	6.76	6.53	6.31	6.11	5.92	5.75	5.58	5.42	5.27	5.13	5.00	4.87	4.75	4.63
5.8	7.26	7.00	6.76	6.54	6.33	6.13	5.95	5.78	5.61	5.46	5.31	5.17	5.04	4.92	4.80
6.0	7.51	7.24	7.00	6.77	6.55	6.35	6.16	5.98	5.81	5.65	5.50	5.35	5.22	5.09	4.96
6.2	7.76	7.49	7.23	6.99	6.77	6.56	6.36	6.18	6.00	5.84	5.68	5.53	5.39	5.26	5.13
6.4	8.01	7.73	7.46	7.22	6.99	6.77	6.57	6.37	6.19	6.02	5.86	5.71	5.56	5.43	5.29
6.6	8.23	7.97	7.70	7.44	7.20	6.98	6.77	6.57	6.39	6.21	6.05	5.89	5.74	5.60	5.46
6.8	8.51	8.21	7.93	7.67	7.42	7.19	6.98	6.77	6.58	6.40	6.23	6.07	5.91	5.76	5.63
7.0	8.75	8.45	8.16	7.89	7.64	7.40	7.18	6.97	6.77	6.59	6.41	6.24	6.09	5.93	5.79
7.2	9.01	8.69	8.40	8.12	7.86	7.62	7.39	7.17	6.97	6.78	6.59	6.42	6.26	6.10	5.96
7.4	9.26	8.93	8.63	8.34	8.08	7.83	7.59	7.37	7.16	6.96	6.78	6.60	6.43	6.27	6.12
7.6	9.51	9.18	8.86	8.57	8.30	8.04	7.80	7.57	7.35	7.15	6.96	6.78	6.61	6.44	6.29
7.8	9.76	9.42	9.10	8.79	8.51	8.25	8.00	7.78	7.55	7.34	7.14	6.96	6.78	6.61	6.45
8.0	10.01	9.66	9.33	9.02	8.73	8.46	8.21	7.97	7.74	7.53	7.33	7.14	6.95	6.78	6.62
8.2	10.26	9.90	9.56	9.25	8.95	8.67	8.41	8.17	7.94	7.72	7.51	7.31	7.13	6.95	6.78
8.4	10.51	10.14	9.80	9.47	9.17	8.88	8.62	8.37	8.13	7.91	7.89	7.31	7.30	7.12	6.95
8.6	10.76	10.38	10.03	9.70	9.39	9.10	8.82	8.57	8.32	8.09	7.88	7.67	7.48	7.29	7.11
8.8	11.01	10.62	10.26	9.92	9.61	9.31	9.03	8.77	8.52	8.28	8.06	7.85	7.65	7.46	7.28
9.0	11.26	10.87	10.49	10.15	9.82	9.52	9.23	8.96	8.71	8.47	8.24	8.03	7.82	7.63	7.45
9.2	11.51	11.11	10.73	10.37	10.04	9.73	9.44	9.16	8.90	8.65	8.43	8.21	8.00	7.80	7.61
9.4	11.76	11.35	10.96	10.60	10.26	9.94	9.64	9.36	9.10	8.85	8.61	8.39	8.17	7.97	7.78
9.6	12.01	11.59	11.19	10.82	10.48	10.15	9.85	9.56	9.29	9.04	8.79	8.56	8.35	8.14	7.94
9.8	12.26	11.83	11.43	11.05	10.70	10.37	10.05	9.76	9.48	9.22	8.98	8.74	8.52	8.31	8.11
10.0	12.51	12.07	11.60	11.28	10.92	10.58	10.26	9.96	9.68	9.41	9.16	8.92	8.69	8.48	8.27

湿空气的比容为

$$v = \frac{1}{\gamma} = \frac{RT}{P} = \frac{29.27 + 47.05d}{1 + d} \frac{T}{P} \quad \text{米}^3/\text{公斤} \quad (1-14)$$

式中 d —— 湿含量 (公斤/公斤);
 P —— 总压力 (公斤/米²);
 T —— 绝对温度 (°K)。

3. 比热 湿空气的等压比热, 系指 1 公斤干空气及其所含水蒸汽升高 1°C 所需的热量, 可由下式决定:

$$C_p = C_o + C_s d \quad \text{千卡/公斤} \cdot \text{°C} \quad (1-15)$$

式中 C_o —— 干空气的平均等压比热 (千卡/公斤·°C);
 C_s —— 水蒸汽的平均等压比热 (千卡/公斤·°C);
 d —— 空气湿含量 (公斤水蒸汽/公斤干空气)。

干空气的等压比热 C_o 与温度和压力的关系见表 1-7。

干空气的等压比热 C_p (千卡/公斤·°C) 与温度及压力的关系 表 1-7

压力 P (绝对大气压)	温 度 (°C)							
	0	25	50	75	100	150	200	250
1	0.2405	0.2410	0.2415	0.2419	0.2424	0.2434	0.2443	0.2453
20	0.2492	0.2487	0.2480	0.2475	0.2470	0.2466	0.2463	0.2468
60	0.2656	0.2627	0.2603	0.2581	0.2562	0.2532	0.2512	0.2500
100	0.2838	0.2760	0.2717	0.2681	0.2650	0.2602	0.2565	0.2536
140	0.2985	0.2873	0.2816	0.2767	0.2725	0.2658	0.2607	0.2566
180	0.3093	0.2960	0.2898	0.2840	0.2790	0.2707	0.2644	0.2596
220	0.3183	0.3020	0.2956	0.2893	0.2838	0.2748	0.2678	0.2622

4. 导热系数 空气的导热系数与温度的关系可用下式表示:

$$\lambda = \lambda_0 \frac{273 + C}{T + C} \left(\frac{T}{273} \right)^{3/2} \quad \text{千卡/米} \cdot \text{小时} \cdot \text{°C} \quad (1-16)$$

式中 T —— 空气的绝对温度 (°K);
 $C = 125$ —— 常数;
 λ_0 —— 空气在 0°C 时的导热系数 (千卡/米·小时·°C)。

根据分子运动理论, 气体的导热系数与压力无关, 但事实上, 在较高压力下, 空气的导热系数增加。

空气的导热系数与温度及压力的关系见表 1-8。

5. 粘度 空气的绝对粘度可由下式求得:

$$\eta_r = \eta_0 \frac{273 + C}{T + C} \left(\frac{T}{273} \right)^{3/2} \quad \text{公斤} \cdot \text{秒/米}^2 \quad (1-17)$$

式中 $\eta_0 = 1.755 \times 10^{-6}$ —— 空气在 0°C 时的绝对粘度 (公斤·秒/米²);
 $C = 124$ (在 1 绝对大气压下) —— 常数。

空气在不同温度及压力下的导热系数 λ (千卡/米·小时·°C)

表 1-8

P (公斤/厘米 ²)	t (°C)		
	20	100	180
1	0.0221	0.0263	0.0311
100	0.0239	0.0265	0.0314
200	0.0328	0.0323	0.0351
300	0.0390	0.0371	0.0360
400	0.04345	0.0404	0.0418

压力低于60绝对大气压时, 空气的绝对粘度随压力的升降, 其变化很小, 而在较高压力下则其变化较大, 如图1-4所示。

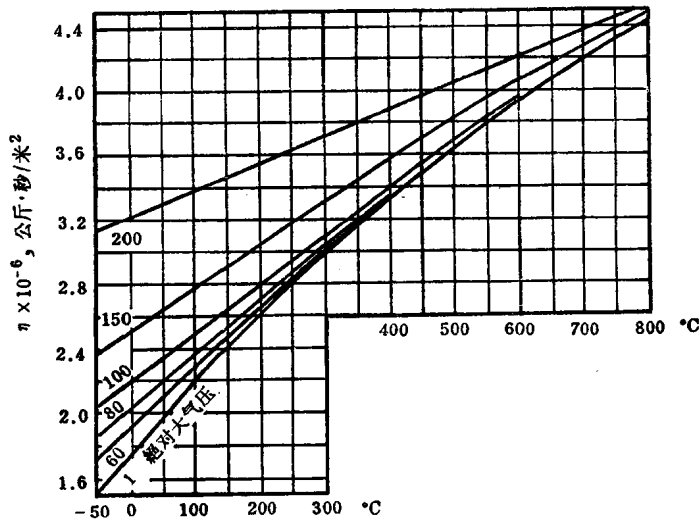


图 1-4 在压力高于60绝对大气压时空气的绝对粘度

空气在不同温度和压力下的绝对粘度值见表1-9。

空气的运动粘度与绝对粘度的关系如下式所示:

$$\nu = \frac{\eta g}{\gamma} \text{ 米}^2/\text{秒} \quad (1-18)$$

空气在不同温度和压力下的绝对粘度 $\eta \times 10^7$ (克/厘米·秒)(泊)

表 1-9

P (公斤/厘米 ²)	t (°C)					
	0	16	25	50	90	100
1	1720	1795	1837	1955	2135	2180
20	1753	1825	1865	1980	2170	2202
50	1815	1885	1922	2032	2200	2240
100	1970	2025	2060	2150	2298	2335
150	2165	2195	2215	2280	2390	2420
200	2370	2385	2395	2435	2510	2530
250	2605	2590	2590	2600	2640	2650
300	2860	2815	2800	2780	2800	2810